

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

2 0 0 4 年 4 月 1 4 日

出 願 番 号

Application Number:

特 願 2 0 0 4 - 1 1 8 7 5 5

パリ条約による外国への出願
に用いる優先権の主張の基礎
となる出願の国コードと出願
番号

The country code and number
of your priority application,
to be used for filing abroad
under the Paris Convention, is

J P 2 0 0 4 - 1 1 8 7 5 5

出 願 人

Applicant(s):

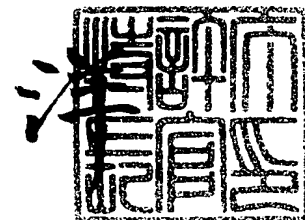
株式会社リコー

BEST AVAILABLE COPY

2 0 0 5 年 4 月 2 7 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



【官 報 号】	特 許 願
【整理番号】	0401264
【提出日】	平成16年 4月14日
【あて先】	特許庁長官殿
【国際特許分類】	H01S 03/18
【発明者】	
【住所又は居所】	東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社 リコー内
【氏名】	高橋 孝志
【特許出願人】	
【識別番号】	000006747
【住所又は居所】	東京都大田区中馬込1丁目3番6号
【氏名又は名称】	株式会社 リコー
【代表者】	桜井 正光
【代理人】	
【識別番号】	100090240
【住所又は居所】	神奈川県横浜市西区浅間町1丁目5番1号 インテンション横浜 601号
【弁理士】	
【氏名又は名称】	植本 雅治
【電話番号】	045-316-1042
【手数料の表示】	
【予納台帳番号】	009793
【納付金額】	16,000円
【提出物件の目録】	
【物件名】	特許請求の範囲 1
【物件名】	明細書 1
【物件名】	図面 1
【物件名】	要約書 1
【包括委任状番号】	9808722

【請求項 1】

基板上に、多層膜反射鏡で上下をはさまれた共振器構造を備えた垂直共振器型面発光半導体レーザ素子において、上記共振器構造内に、電流注入で発光する活性領域と電流注入機構を有せず外部励起光によって発光する活性領域とを備えており、電流注入で発光する活性領域と外部励起光によって発光する活性領域とは、両者とも、上記共振器構造が有する同一の共振モード波長に対して、利得を有することを特徴とする垂直共振器型面発光半導体レーザ素子。

【請求項 2】

基板上に、多層膜反射鏡で上下をはさまれた共振器構造を複数備え、複数の共振器構造が光学的に結合して 1 つの共振モードを形成する垂直共振器型面発光半導体レーザ素子において、1 つの共振器構造内に電流注入で発光する活性領域を備え、他の共振器構造内に電流注入機構を有せず外部励起光によって発光する活性領域を備えており、電流注入で発光する活性領域と外部励起光によって発光する活性領域とは、両者とも、同一の共振モード波長に対して、利得を有することを特徴とする垂直共振器型面発光半導体レーザ素子。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 記載の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子において、外部励起光によって発光する活性領域が複数設けられていることを特徴とする垂直共振器型面発光半導体レーザ素子。

【請求項 4】

請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか一項に記載の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子において、活性領域に、窒素と他の V 族元素との混晶半導体を含むことを特徴とする垂直共振器型面発光半導体レーザ素子。

【請求項 5】

請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか一項に記載の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子において、電流注入で発光する活性領域は、量子井戸層と障壁層を複数積層した多重量子井戸構造から構成されており、障壁層に p 型不純物が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の範囲でドーピングされていることを特徴とする垂直共振器型面発光半導体レーザ素子。

【請求項 6】

垂直共振器型面発光半導体レーザ素子と外部励起光源とを備えた発光装置において、垂直共振器型面発光半導体レーザ素子は、請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項に記載の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子であって、外部励起光源の波長は、上記垂直共振器型面発光半導体レーザ素子中の外部励起光によって発光する活性領域のバンドギャップに対応する波長と同じかまたは短い波長であることを特徴とする発光装置。

【請求項 7】

請求項 6 記載の発光装置において、外部励起光源は、半導体レーザであることを特徴とする発光装置。

【請求項 8】

請求項 7 記載の発光装置において、外部励起光源は、垂直共振器型面発光半導体レーザであることを特徴とする発光装置。

【請求項 9】

請求項 7 または請求項 8 記載の発光装置において、請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項に記載の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子と、外部励起光源とが、モノリシックに集積化されていることを特徴とする発光装置。

【請求項 10】

請求項 6 乃至請求項 9 のいずれか一項に記載の発光装置が用いられていることを特徴とする光伝送システム。

・ 【発明の名称】 垂直共振器型面発光半導体レーザ素子および発光装置および光伝送システム

・ 【技術分野】

【0001】

本発明は、垂直共振器型面発光半導体レーザ素子および発光装置および光伝送システムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、光伝送技術は、幹線系伝送網だけでなく、LANやアクセス系、ホームネットワークにも展開されてきている。例えば、イーサネットにおいては、10Gbpsの伝送容量が開発されてきている。将来的には更なる伝送容量の増加が求められており、10Gbpsを超えた光伝送システムが期待されている。

【0003】

伝送容量が10Gbps以下の光伝送用光源においては、半導体レーザの注入電流を変調することで出力光強度を変調する直接変調方式が主に用いられている。しかしながら、半導体レーザを直接変調により10GHzを超えた変調周波数で動作させることは困難である。そこで、10Gbpsを超えた光伝送用光源としては、半導体レーザから出力された光を外部変調器で変調する方式が開発されている。しかし、外部変調方式では、モジュールサイズが大きく、また部品点数が多いためコストが高いというデメリットがある。そのため、外部変調器を備えた光伝送技術は、幹線系のような高価なシステムには用いられても、LANやホームネットワークのような一般ユーザが用いるシステムには不向きとなっている。

【0004】

一方、LANや光インターコネクション用の光源として、垂直共振器型面発光半導体レーザ素子(VCSEL)の使用が検討されるようになってきている。VCSELは、従来の端面発光型半導体レーザに比べて、低消費電力であり、また製造工程で劈開が不用でウェハ状態で素子の検査が可能であるため低コスト化に優れた特徴を有している。そのため、10Gbpsを超えた大容量の光LANや光インターコネクション用の光源として、直接変調によるVCSELが期待されている。

【0005】

VCSELを高速に変調する方法としては、これまで以下のような技術が提案されている。

【0006】

例えば特許文献1には、上部の多層膜反射鏡を介さずに電流を活性領域に注入させ、このとき、横方向抵抗を低減するために、2次元キャリアの生成が可能な変調ドープ積層構造を設け、これにより、VCSELの抵抗を低減して、抵抗(R)と容量(C)で制限される電氣的な変調帯域を増加させる技術が示されている。

【0007】

また、特許文献2には、発光層の近傍にサブバンド間吸収する量子井戸層を設け、変調信号光を入力すると、量子井戸層のサブバンド間吸収によりキャリア分布が変調され、発光層のキャリア密度も変調されて、発光出力が変調され、従って、応答速度がCR時定数やキャリア輸送効果に影響されることなく、高速化される技術が示されている。

【0008】

また、特許文献3には、VCSELに光注入励起を行う横方向共振器型半導体レーザが同一基板上に集積されて形成されており、VCSELの活性層の禁制帯幅を横方向共振器型半導体レーザの禁制帯幅よりも小さく設定して、光励起効率を高めており、外部変調として、横方向共振器型半導体レーザの変調光信号を入力させることにより、VCSELの変調周波数を増加させる技術が示されている。

【0009】

また、特許文献1には、VCSELにDFBレーザの光を注入させて、VCSELの発振波長を同期させ（インジェクションロック）、これにより、VCSELの緩和振動周波数を22.8GHzに増加させる技術が示されている。

【特許文献1】特開2002-185079号公報

【特許文献2】特開2002-204039号公報

【特許文献3】特開平7-249824号公報

【非特許文献1】信学技報 OPE 2003-218, LQE 3003-155

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

上述したように、特許文献1においては、ドライバ回路から出力される電気的変調信号がVCSELの発光層のキャリア密度を変調させるときの応答速度を改善している。また、特許文献2、特許文献3においては、外部から変調光信号を入力することにより、素子に電流が流れるときの電気的な応答速度の遅れの影響をなくしている。

【0011】

しかしながら、特許文献1、特許文献2、特許文献3のいずれの構造も、発光層におけるキャリア密度変化に対して誘導放出速度が追従できなくなる緩和振動周波数については増加させることができない。そのため、変調速度が緩和振動周波数で制限されることになる。

【0012】

一方、非特許文献1においては、VCSELの発振モードに同期した光を外部から注入することにより、VCSEL内部の光子密度を高めている。内部光子密度は緩和振動周波数と関係しており、内部光子密度を高めることで、VCSELの緩和振動周波数を増加させることが可能となっている。しかしながら、上記方法においては、外部から注入するレーザ光の波長を、VCSELの共振モード波長と厳密に一致させる必要がある。波長ずれが数nm程度でモード同期されなくなり、緩和振動周波数を増加させることができなくなってしまう。そのため、波長のチューニングや温度制御を行う必要があり、装置構成が複雑となってしまう。

【0013】

本発明は、緩和振動周波数が高く、チャンネル当たりの伝送容量が10Gbpsを超える大容量伝送に適したVCSEL発光装置を、簡易な構成で実現することの可能な垂直共振器型面発光半導体レーザ素子および発光装置および光伝送システムを提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0014】

上記目的を達成するために、請求項1記載の発明は、基板上に、多層膜反射鏡で上下をはさまれた共振器構造を備えた垂直共振器型面発光半導体レーザ素子において、上記共振器構造内に、電流注入で発光する活性領域と電流注入機構を有せず外部励起光によって発光する活性領域とを備えており、電流注入で発光する活性領域と外部励起光によって発光する活性領域とは、両者とも、上記共振器構造が有する同一の共振モード波長に対して、利得を有することを特徴としている。

【0015】

また、請求項2記載の発明は、基板上に、多層膜反射鏡で上下をはさまれた共振器構造を複数備え、複数の共振器構造が光学的に結合して1つの共振モードを形成する垂直共振器型面発光半導体レーザ素子において、1つの共振器構造内に電流注入で発光する活性領域を備え、他の共振器構造内に電流注入機構を有せず外部励起光によって発光する活性領域を備えており、電流注入で発光する活性領域と外部励起光によって発光する活性領域とは、両者とも、同一の共振モード波長に対して、利得を有することを特徴としている。

【0016】

また、請求項3記載の発明は、請求項1または請求項2記載の垂直共振器型面発光半導

体レーザ素子において、外部励起光によって発光する活性領域が複数設けられていることを特徴としている。

【0017】

また、請求項4記載の発明は、請求項1乃至請求項3のいずれか一項に記載の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子において、活性領域に、窒素と他のV族元素との混晶半導体を含むことを特徴としている。

【0018】

また、請求項5記載の発明は、請求項1乃至請求項4のいずれか一項に記載の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子において、電流注入で発光する活性領域は、量子井戸層と障壁層を複数積層した多重量子井戸構造から構成されており、障壁層にp型不純物が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の範囲でドーピングされていることを特徴としている。

【0019】

また、請求項6記載の発明は、垂直共振器型面発光半導体レーザ素子と外部励起光源とを備えた発光装置において、垂直共振器型面発光半導体レーザ素子は、請求項1乃至請求項5のいずれか一項に記載の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子であって、外部励起光源の波長は、上記垂直共振器型面発光半導体レーザ素子中の外部励起光によって発光する活性領域のバンドギャップに対応する波長と同じかまたは短い波長であることを特徴としている。

【0020】

また、請求項7記載の発明は、請求項6記載の発光装置において、外部励起光源は、半導体レーザであることを特徴としている。

【0021】

また、請求項8記載の発明は、請求項7記載の発光装置において、外部励起光源は、垂直共振器型面発光半導体レーザであることを特徴としている。

【0022】

また、請求項9記載の発明は、請求項7または請求項8記載の発光装置において、請求項1乃至請求項5のいずれか一項に記載の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子と、外部励起光源とが、モノリシックに集積化されていることを特徴としている。

【0023】

また、請求項10記載の発明は、請求項6乃至請求項9のいずれか一項に記載の発光装置が用いられていることを特徴としている。

【発明の効果】

【0024】

請求項1記載の垂直共振器型半導体レーザ素子は、共振器内に設けられた電流注入で発光する活性領域に加えて、同じ共振器内に設けられた電流注入機構を有せず外部励起光によって発光する活性領域を備えていることにより、電流注入によって発生する光子密度に、外部励起光で発生させた光子密度が同一モードで加えられるため、素子内部の光子密度を増加させることができる。これにより、VCSELの緩和振動周波数が増加し、高速変調が可能となる。

【0025】

また、請求項2記載の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子は、光学的に結合した複数の共振器構造を備え、1つの共振器構造内には電流注入で発光する活性領域が設けられており、他の共振器構造内には電流注入機構を有せず外部励起光によって発光する活性領域が設けられている。そのため、電流注入によって発生する光子密度に外部励起光で発生させた光子密度が同一モードで加えられるため、素子内部の光子密度を増加させることができる。従って、VCSELの緩和振動周波数が増加し、高速変調が可能となる。

【0026】

また、電流注入で発光する活性領域と外部励起光によって発光する活性領域との距離を離すことができるため、外部励起光の光学的クロストークを抑制することができる。

【００２１】

また、請求項３記載の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子は、請求項１または請求項２の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子において、外部励起光によって発光する活性領域が複数設けられていることにより、より高い光子密度まで利得飽和が生じにくくなるため、更に緩和振動周波数を増加させることができる。

【００２８】

また、請求項４記載の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子においては、請求項１乃至請求項３のいずれか一項に記載の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子において、活性領域に窒素と他のＶ族元素との混晶半導体を含むことにより、石英光ファイバの分散がゼロである波長 $1.31\mu\text{m}$ のVCSELを形成できるため、 10Gbps 以上の大容量伝送に適した発光素子を形成できる。

【００２９】

また、請求項５記載の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子は、請求項１乃至請求項４のいずれか一項に記載の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子において、電流注入で発光する活性領域は量子井戸層と障壁層を複数積層した多重量子井戸構造から構成されており、障壁層にｐ型不純物が $1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}\sim 1\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ の範囲でドーピングされたことにより、電流注入で発光する活性領域の微分利得を増加させることができる。従って、さらにVCSELの緩和振動周波数を増加させることができる。

【００３０】

また、請求項６記載の発光装置は、請求項１乃至請求項５のいずれか一項に記載の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子と外部励起光源とを備えていることにより、直接変調で 10Gbps を超える大容量伝送を実現することができる。

【００３１】

また、請求項７記載の発光装置は、請求項６記載の発光装置において、外部励起光源が半導体レーザであることにより、発光装置の小型化や、低消費電力化を実現することができる。

【００３２】

また、請求項８記載の発光装置は、請求項７記載の発光装置において、外部励起光源が垂直共振器型面発光半導体レーザであることにより、より一層の低消費電力化と、発光装置の低コスト化が可能となる。

【００３３】

また、請求項９記載の発光装置は、請求項７または請求項８記載の発光装置において、請求項１乃至請求項５のいずれか一項に記載の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子と、外部励起光源とが、モノリシックに集積化されたことにより、発光装置をさらに小型化できる。また、発光装置の部品点数を減らすことができるため、低コスト化をはかることができる。

【００３４】

また、請求項１０記載の光伝送システムは、請求項６乃至請求項９のいずれか一項に記載の発光装置が用いられていることにより、 10Gbps を超える大容量の光伝送システムを低コストで構築することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００３５】

以下、本発明を実施するための最良の形態を説明する。

【００３６】

（第１の形態）

本発明の第１の形態の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子は、基板上に、多層膜反射鏡で上下をはさまれた共振器構造を備えた垂直共振器型面発光半導体レーザ素子において、上記共振器構造内に、電流注入で発光する活性領域と電流注入機構を有せず外部励起光によって発光する活性領域とを備えており、電流注入で発光する活性領域と外部励起光に

よって、光出力は、利得領域には、両方とも、上記共振条件が有する同一の共振モード波長に対して、利得を有することを特徴としている。

【0037】

半導体レーザを直接変調する場合に、変調帯域を制限する原因として、CR時定数、キャリア輸送効果、緩和振動周波数などが挙げられる。特に、緩和振動周波数は、発光層におけるキャリア密度変化に対して誘導放出速度が追従できなくなる限界の周波数であり、直接変調する場合に本質的な制限となっている。

【0038】

緩和振動周波数 f_r は一般に次式（数1）で表される。

【0039】

【数1】

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\Gamma g S}{\tau_p}}$$

【0040】

ここで、 Γ は光閉じ込め係数、 g は微分利得、 S は光子密度、 τ_p は光子寿命である。数1によれば、緩和振動周波数 f_r は、光子密度 S を大きくするほど高くできることが示されている。しかしながら、発光層中にキャリアが高注入されると、キャリアオーバフローや素子の発熱等により利得の飽和が生じ、光子密度を増加させることができなくなってしまう。そのため、緩和振動周波数は10GHz程度に抑制される。

【0041】

本発明の第1の形態の垂直共振器型面発光半導体レーザ（VCSEL）は、共振器内に設けられた電流注入で発光する第1の活性領域に加えて、電流注入機構を有せず外部励起光によって発光する第2の活性領域を備えたことを特徴としている。第1の活性領域に注入する電流を変調することにより、第1の活性領域内のキャリア密度が変化して、光出力強度が変調される。一方、第2の活性領域では、外部から励起光を連続的に注入することで誘導放出が生じ、励起光強度を閾光出力以上に増加させると、レーザ発振が生じる。

【0042】

電流注入で発光する活性領域と外部励起光によって発光する活性領域は、同一の共振器構造内に設けられており、また共振器の有する同一の共振モード波長に対して両者ともに利得を有している。従って、電流注入による発振光と外部励起光による発振光は同一波長で発振し、モード同期する。これにより、従来の電流注入によって発生する光子密度に、外部励起光で発生させた光子密度が同一モードで加えられるため、素子内部の光子密度 S を従来よりも増加させることができる。従って、VCSELの緩和振動周波数が増加し、高速変調が可能となる。

【0043】

外部励起光は、VCSELに対して横方向から注入したり、または基板と垂直方向に注入することが可能である。

【 0 0 4 4 】

前述の特許文献1で報告されているVCSELは、発振モードに同期した光を外部から注入することにより、VCSEL内部の光子密度を高めている。そのため、外部から注入するレーザ光の波長を、VCSELの共振モード波長と厳密に一致させる必要がある。一方、本発明では外部から注入する光は第2の活性領域を光励起するためのものであり、第2の活性領域で吸収される波長帯であればよい。従って、励起光の発振波長を厳密に制御する必要がなく、簡易な装置となっている。

【 0 0 4 5 】

また、前述の特許文献3においては、VCSELに光注入励起を行う点で、本発明と構造が類似している。しかしながら、特許文献3においては、電流注入する活性層と光注入励起する活性層を同一の層としている点で、本発明とは異なっている。電流注入する活性層と光注入励起する活性層を同一の層とした場合、光励起で発生したキャリアが電流注入されたキャリア密度に加わるため、活性層内のキャリアオーバーフローによる利得飽和は改善されない。一方、本発明では、電流注入で発光する第1の活性領域と電流注入機構を有せず外部励起光によって発光する第2の活性領域とを分離しており、電流注入する第1の活性領域のキャリア蓄積を抑制して、素子内部の光子密度を高めることができる。従って、緩和振動周波数を従来構造よりも高めることができる。

【 0 0 4 6 】

また、文献「Electron. Lett., 2002, 28, pp278-280」においては、共振器内に2つの活性領域を備えたVCSEL構造が報告されている。上記VCSELは3端子構造となっており、2つの活性領域にそれぞれ独立に電流を注入する構造となっている。しかしながら、電流注入する活性領域が近接して2つあると、それぞれの活性領域のpn接合にジャンクション電圧が印加されるため、素子の発熱が大きくなってしまう。本発明では、一方の活性領域は電流注入機構を有せず光励起により発光するため、素子の発熱を抑制できる。

【 0 0 4 7 】

また、外部励起光によって発光する第2の活性領域は、pn接合を設けないため、n型半導体層中やp型半導体層中、またはノンドープ半導体層中のいずれの場所にも設けることが可能である。従って、VCSEL構造の設計自由度が高くなっている。

【 0 0 4 8 】

なお、第1の活性領域及び第2の活性領域は、VCSEL素子内の光定在波分布において、腹の位置に設けることが望ましい。これにより、光定在波と活性領域との結合効率が増加して、閾値を低減することができる。

【 0 0 4 9 】

なお、VCSELの温度特性を向上させるために、共振モード波長に対して、室温における活性領域の利得ピーク波長を短波長側にシフトさせることができる。このとき、第1の活性領域における波長シフト量と第2の活性領域における波長シフト量は、必ずしも一致させる必要はない。それぞれの活性領域の利得スペクトル帯域内に共振モード波長がはいっていればよい。

【 0 0 5 0 】

(第2の形態)

また、本発明の第2の形態の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子は、基板上に、多層膜反射鏡で上下をはさまれた共振器構造を複数備え、複数の共振器構造が光学的に結合して1つの共振モードを形成する垂直共振器型面発光半導体レーザ素子において、1つの共振器構造内に電流注入で発光する活性領域を備え、他の共振器構造内に電流注入機構を有せず外部励起光によって発光する活性領域を備えており、電流注入で発光する活性領域と外部励起光によって発光する活性領域とは、両者とも、同一の共振モード波長に対して、利得を有することを特徴としている。

【 0 0 5 1 】

このように、第2の形態のVCSELは、光学的に結合した複数の共振器構造を有して

わつ、１つの共振器構造内には電流注入で光発する第１の活性領域を備え、他の共振器構造内には電流注入機構を有せず外部励起光によって発光する第２の活性領域を備えたことを特徴としている。

【００５２】

第１の活性領域に注入する電流を変調することにより、第１の活性領域内のキャリア密度が変化して、光出力強度が変調される。一方、第２の活性領域では、外部から励起光を連続的に注入することで誘導放出が生じ、励起光強度を閾光出力以上に増加させると、レーザ発振が生じる。

【００５３】

電流注入で発光する活性領域と外部励起光によって発光する活性領域は、異なる共振器構造内に設けられているが、複数の共振器構造は光学的に結合して１つの共振モードを形成している。また、同一の共振モード波長に対して、電流注入で発光する活性領域と外部励起光によって発光する活性領域は、ともに利得を有している。従って、電流注入による発振光と外部励起光による発振光は同一波長で発振し、モード同期する。これにより、従来の電流注入によって発生する光子密度に、外部励起光で発生させた光子密度が同一モードで加えられるため、素子内部の光子密度を従来よりも増加させることができる。従って、VCSELの緩和振動周波数が増加し、高速変調が可能となる。

【００５４】

また、電流注入で発光する第１の活性領域と外部励起光によって発光する第２の活性領域はそれぞれ別の共振器構造内に設けられているため、第１の活性領域と第２の活性領域との距離を離すことができる。第１の活性領域と第２の活性領域が近接して設けられている場合、外部から注入された励起光の一部が第１の活性領域にも注入されてしまい、第１の活性領域内のキャリア密度を増加させてしまう。一方、第２の形態においては、第１の活性領域と第２の活性領域との距離を離すことができるため、外部から注入する励起光を第２の活性領域にのみ選択的に注入し、第１の活性領域に光が注入されることを容易に抑制することができる。そのため、外部励起光の光学的クロストークを抑制することができる。

【００５５】

（第３の形態）

また、本発明の第３の形態の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子は、第１または第２の形態の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子において、外部励起光によって発光する活性領域が複数設けられていることを特徴としている。

【００５６】

第３の形態の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子では、利得を発生する活性領域の数を増やすことで、それぞれの活性領域に蓄積されるキャリア密度を下げることができ、より高い光密度まで利得飽和が生じにくくなる。従って、更に緩和振動周波数を増加させることができる。

【００５７】

また、複数設けた活性領域は、電流注入機構を有しない光注入励起の活性領域である。電流注入する活性領域を増加させる場合、電極端子を増加させる必要があり、素子構造が複雑になってしまう。そのため、プロセス工程の増加や歩留まりの低下を招いてしまう。一方、光注入励起の活性領域は、VCSEL中の光定在波分布の腹の位置に設けることで、容易に数を増やすことが可能である。従って、コストの増加を抑制することができる。

【００５８】

電流注入機構を有せず外部励起光によって発光する活性領域は、一般に、DBRではさまれた共振器内に設けられる。しかしながら、電流注入機構を有せず外部励起光によって発光する活性領域を、DBR中に設けることも可能である。共振器からDBR側に光の染み出しが生じるため、DBRに染み出した光はDBR中に設けられた活性領域によって利得を得ることができるためである。しかしながら、共振器から離れるにつれてVCSEL素子内の光定在波分布における腹の位置の光強度は減衰するため、VCSEL素子内の光

と倍増との相口効率が低下してしまふ。従つて、LED素子に電流は八微増を有せしむる励起光によって発光する活性領域を設ける場合には、共振器に近接した3周期以内に設けることが望ましい。

【0059】

(第4の形態)

また、本発明の第4の形態の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子は、第1乃至第3のいずれかの形態の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子において、活性領域に、窒素と他のV族元素との混晶半導体を含むことを特徴としている。

【0060】

窒素と他のV族元素との混晶半導体としては、例えばGaNA s、GaInNA s、GaNA sP、GaInNA sP、GaNA sSb、GaInNA sSb、GaNA sPSb、GaInNA sPSb等がある。上記混晶半導体は、GaAs基板上に結晶成長可能な長波長帯材料系である。以下、GaInNA sを例にして説明する。

【0061】

GaInNA sは、GaAs等の障壁層との伝導帯電子の閉じ込め障壁高さを300meV以上と高くすることができるため、電子のオーバーフローが抑制され、良好な温度特性を有している。また、AlGaAs材料系を用いた高反射率、高熱伝導性の分布ブラッグ反射鏡を用いることができ、長波長帯で良好な性能の垂直共振器型面発光半導体レーザを形成可能である。

【0062】

本発明は、変調周波数を向上させることで、10Gbpsを超える大容量伝送を可能とする直接変調VCSELを提供することを目的としている。10Gbps以上の高い伝送帯域では、石英光ファイバの分散によって伝送距離が制限される。GaInNA s等の窒素と他のV族元素との混晶半導体を活性領域に用いることで、石英光ファイバの分散がゼロである波長1.31 μ mのVCSELを形成できるため、本発明の高速変調特性を生かすことができる。

【0063】

(第5の形態)

また、本発明の第5の形態の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子は、第1乃至第4のいずれかの形態の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子において、電流注入で発光する活性領域は量子井戸層と障壁層を複数積層した多重量子井戸構造から構成されており、障壁層にp型不純物が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の範囲でドーピングされていることを特徴としている。

【0064】

第5の形態の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子では、MQW構造の障壁層に、p型不純物を $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の範囲でドーピングすることにより、レーザ発振に必要な注入電子密度が減少し、微分利得gを増加させることができる。数1より、微分利得gを増加させる効果は、VCSEL素子内の光子密度Sを増加させる効果と併用することにより、さらにVCSELの緩和振動周波数を増加させることができる。

【0065】

障壁層に対するp型不純物のドーピング濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ より小さい場合には、微分利得を増加させる効果がほとんど見られない。また、障壁層に対するp型不純物のドーピング濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ より大きくしてしまうと、障壁層の結晶品質が低下してしまう。従つて、障壁層に対するp型不純物のドーピング濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の範囲で行うことが望ましい。

【0066】

p型不純物としては、C、Zn、Be、Mg等を用いることが可能である。特に、Cは高濃度にドーピングしても熱拡散しにくいいため、急峻なドーピングプロファイルを形成することができるため、適している。

【 0 0 6 8 】

（第6の形態）

また、本発明の第6の形態の発光装置は、垂直共振器型面発光半導体レーザ素子と外部励起光源とを備えた発光装置において、垂直共振器型面発光半導体レーザ素子は、第1乃至第5のいずれかの形態の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子であって、外部励起光源の波長は、上記垂直共振器型面発光半導体レーザ素子中の外部励起光によって発光する活性領域のバンドギャップに対応する波長と同じかまたは短い波長であることを特徴としている。

【 0 0 6 8 】

このように、第6の形態の発光装置は、第1乃至第5のいずれかの形態の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子と、外部励起光源を備えている。外部励起光源は、垂直共振器型面発光半導体レーザ素子中の活性領域の外部励起光によって発光する活性領域のバンドギャップに対応する波長と同じかまたは短い波長の光を放出することにより、電流注入機構を有せず外部励起光によって発光する活性領域を光励起する。変調信号を電流注入で発光する活性領域に印加する電気信号として印加することで、VCSELの光出力が変調される。

【 0 0 6 9 】

VCSELの緩和振動周波数は、外部励起光源で発振した光により内部光子密度が高められることで増加する。緩和振動周波数の高いVCSELを備えたことで、本発明の発光装置は高速変調可能であり、10Gbpsを超える大容量伝送を実現することができる。

【 0 0 7 0 】

（第7の形態）

また、本発明の第7の形態の発光装置は、第6の形態の発光装置において、外部励起光源が半導体レーザであることを特徴としている。

【 0 0 7 1 】

このように、第7の形態の発光装置は、外部励起光源を半導体レーザにすることで、発光装置のサイズを小型化することができ、また発光装置の消費電力を低減することができる。

【 0 0 7 2 】

励起光源として用いる半導体レーザとしては、ファブリ＝ペロ共振器型半導体レーザや、分布帰還型（DFB）半導体レーザ、分布ブラッグ反射型（DBR）半導体レーザ等を用いることができる。

【 0 0 7 3 】

（第8の形態）

また、本発明の第8の形態の発光装置は、第7の形態の発光装置において、外部励起光源が垂直共振器型面発光半導体レーザであることを特徴としている。

【 0 0 7 4 】

垂直共振器型面発光半導体レーザ（VCSEL）は、端面発光型半導体レーザに比べて、消費電力が低く、また低コストで製造することができる。従って、外部励起光源としてVCSELを用いることにより、より一層の低消費電力化と、発光装置の低コスト化が可能となる。

【 0 0 7 5 】

（第9の形態）

また、本発明の第9の形態の発光装置は、第7または第8の形態の発光装置において、第1乃至第5のいずれかの形態の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子と、外部励起光源とが、モノリシックに集積化されていることを特徴としている。

【 0 0 7 6 】

変調光信号を出力するVCSELと外部励起光源とを同一基板上にモノリシック集積することにより、発光装置がさらに小型化される。また、発光装置の部品点数を減らすことができるため、低コスト化をはかることができる。

外部励起光源として端面発光型半導体レーザを用いる場合には、VCSELの側面に集積し、横方向から光励起する構造を作製することができる。また、外部励起光源としてVCSELを用いる場合には、変調光信号を出力するVCSELと励起用VCSELを、基板と垂直方向に積層して構成することができる。

【0078】

なお、文献「Electron. Lett., 1998, 34, pp1405-1407」には、励起用の $0.85\mu\text{m}$ 帯VCSELと $1.3\mu\text{m}$ 帯VCSELとを集積した構造が報告されている。しかし、この報告例においては、 $1.3\mu\text{m}$ 帯VCSELに電流注入構造を有しておらず、 $1.3\mu\text{m}$ 光の変調は $0.85\mu\text{m}$ 帯VCSELを直接変調することによって行っている。そのため、変調周波数は、励起用 $0.85\mu\text{m}$ 帯VCSELの緩和振動周波数に制限されてしまう。従って、本発明のようにVCSEL自身の緩和振動周波数を増加させる構造とはなっていない。従って、本発明とは構造及び動作原理が異なっている。

【0079】

(第10の形態)

また、本発明の第10の形態の光伝送システムは、第6乃至第9のいずれかの形態の発光装置が用いられていることを特徴としている。

【0080】

第6乃至第9のいずれかの形態の発光装置は、 10Gbps を超える高速変調をVCSELの直接変調で可能にしている。そのため、外部変調器や電子冷却素子を用いない安価な構成となっており、大容量の光伝送システムを低コストで構築することができる。

【実施例1】

【0081】

図1は、実施例1の垂直共振器型面発光半導体レーザ素子(VCSEL)を示す図である。

【0082】

図1を参照すると、半絶縁性GaAs基板101上に、ノンドープ分布ブラッグ反射鏡(DBR)102が積層されている。

【0083】

ここで、ノンドープDBR 102は、ノンドープ $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ 層とノンドープ $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層とを $1/4$ 波長厚で交互に積層して形成されている。

【0084】

ノンドープDBR 102上には、 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 第1スペーサ層103、GaAs/ $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 多重量子井戸第2活性層104、n型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 第2スペーサ層105、GaAs/ $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 多重量子井戸第1活性層106、 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 第3スペーサ層107、p型AlAs層108、p型DBR 109が順次積層されている。

【0085】

ここで、p型DBR 109は、p型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ 層とp型 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 層とを $1/4$ 波長厚で交互に積層して形成されている。

【0086】

そして、積層構造表面からn型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 第2スペーサ層105の途中まで円筒状にエッチングされて、第1のメサ構造が形成されている。さらに、第1のメサ構造よりも大きいサイズで、ノンドープDBR 102に達するまで矩形状にエッチングされて第2のメサ構造が形成されている。

【0087】

また、第1のメサ構造の側面からp型AlAs層108が選択的に酸化されて、 AlO_x 絶縁領域110が形成されている。

【0088】

また、p型DBR 102の表面には、凡山形部を除いてツブツブのp側電極112が形成されている。そして、第1のメサ構造の底面（第2のメサ構造の頂上部）には、n側電極113が形成されている。111は、第1のメサ構造側面に形成された遮光層である。遮光層としては、例えば、絶縁層を介した金属層を用いることができる。

【0089】

図1のVCSELにおいては、p側電極112から注入された正孔と、n側電極113から注入された電子が、GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As多重量子井戸第1活性層106で発光再結合することにより、0.85μm帯の光を放出する。このとき、AlOx絶縁領域110により電流がブロックされるため、選択酸化されていないp型AlAs層108の下に電流が集中して、電流が狭窄される。

【0090】

第1活性層106で発光した光は、ノンドープDBR 102とp型DBR 109との間の共振器内で共振して、基板と垂直上方にレーザー光が出射される。

【0091】

実施例1のVCSELにおいては、電流注入で発光するGaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As多重量子井戸第1活性層106に加えて、GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As多重量子井戸第2活性層104を備えたことを特徴としている。第2活性層104に対しては電流注入する電極を設けていない。その代わり、第2活性層104の側面から外部励起光を注入するための窓部が第2のメサ構造側面に設けられている。なお、第1のメサ構造側面に設けられた遮光層111は、外部励起光が第1活性層106に照射されることを抑制する働きをしている。

【0092】

第2活性層104に外部から励起光を連続的に注入することにより、第2活性層104のバンドギャップ0.85μm帯に対応した光が発生する。そして、励起光強度を閾値以上に増加させると、外部励起によりVCSELのレーザー発振が生じる。第1活性層106と第2活性層104のバンドギャップを等しくしており、またノンドープDBR 102とp型DBR 109との間で構成された同一の共振器で発振するため、第1活性層106に電流注入したときの発振光と、第2活性層104を光励起させたときの発振光は、同一波長で発振する。

【0093】

第2活性層104に励起光を連続的に注入して発振させた状態で、第1活性層106に注入する電流を変調させると、第1活性層106内のキャリア密度が変化して、出射されるレーザー光強度が変調される。このとき、第1活性層106に電流注入して発生する光に、外部励起光により第2活性層104で発生した光が同一モードで加えられるため、VCSEL素子内部の光子密度を増加させることができる。

【0094】

また、電流注入する第1活性層106と光注入励起する第2活性層104とを分離することにより、第1活性層106中のキャリア密度がより少ない状態で、VCSEL素子内部の光子密度を高めることができる。従って、電流注入する第1活性層106のキャリアオーバーフローによる利得飽和が抑制される。これにより、VCSELの緩和振動周波数が増加して、高速変調が可能となる。

【0095】

なお、外部から第2活性層104に注入する励起光の波長は、第2活性層104で吸収される波長帯であればよい。従って、励起光の発振波長を厳密に規定する必要がないため、励起光の波長をチューニングしたり、温度制御する必要がなく、制御が容易となっている。

【実施例2】

【0096】

図2は、実施例1のVCSELを備えた発光装置の構成例を示す図（実施例2の発光装置を示す図）である。図2を参照すると、Si基板201上に、実施例1のVCSEL

202と、励起用半導体レーザ203の波長が一致している。ここで、VCSEL 202と励起用半導体レーザ203は、それぞれ、熱伝導性に優れた金属はんだでSi基板201上に接着されている。励起用半導体レーザ203は、波長0.85 μmのファブリ＝ペロー型半導体レーザとなっている。

【0097】

Si基板201には段差が設けられており、励起用半導体レーザ203の活性層とVCSEL 202のGaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As多重量子井戸第2活性層104とが、ほぼ同じ高さとなるように構成されている。

【0098】

励起用半導体レーザ203の発振波長0.85 μmは、VCSEL 202のGaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As多重量子井戸第2活性層104のバンドギャップ波長0.85 μmと同じであり、VCSEL 202の第2活性層104を光励起してVCSEL 202を発振させることができる。そのため、VCSEL 202の電流注入による発振光と同期して内部の光子密度を増加させることができ、VCSEL 202の緩和振動周波数を増加させることができる。これにより、実施例2の発光装置は、VCSEL 202の第1活性層106に対してバイアス電流と変調電気信号を入力することにより、直接変調で10 Gbps以上の大容量伝送が可能となる。

【0099】

また、外部励起光源として半導体レーザを用いSi基板上に集積することにより、発光装置を小型化することができた。

【実施例3】

【0100】

図8は実施例3のVCSELを示す図である。図8を参照すると、半絶縁性GaAs基板101上に、ノンドープ第1DBR 801が積層されている。

【0101】

ここで、ノンドープDBR 801は、ノンドープAl_{0.2}Ga_{0.8}As層とノンドープAl_{0.9}Ga_{0.1}As層とを1/4波長厚で交互に積層して形成されている。

【0102】

ノンドープDBR 801上には、Al_{0.3}Ga_{0.7}As第1スペーサ層802、GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As多重量子井戸第2活性層104、Al_{0.3}Ga_{0.7}As第2スペーサ層803、ノンドープ第2DBR 804が順次積層されている。

【0103】

ここで、ノンドープ第2DBR 804は、ノンドープAl_{0.2}Ga_{0.8}As層とノンドープAl_{0.9}Ga_{0.1}As層を1/4波長厚で交互に積層して形成されているが、積層周期数は、ノンドープ第1DBR 801よりも少なくなっている。

【0104】

ノンドープ第2DBR 804上には、n型Al_{0.3}Ga_{0.7}As第3スペーサ層805、GaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As多重量子井戸第1活性層106、Al_{0.3}Ga_{0.7}As第4スペーサ層806、p型AlAs層108、p型DBR 807が順次積層されている。

【0105】

ここで、p型DBR 807は、p型Al_{0.2}Ga_{0.8}As層とp型Al_{0.9}Ga_{0.1}As層とを1/4波長厚で交互に積層して形成されている。

【0106】

そして、積層構造表面からn型Al_{0.3}Ga_{0.7}As第3スペーサ層805の途中まで円筒状にエッチングされて、第1のメサ構造が形成されている。さらに、第1のメサ構造よりも大きいサイズで、ノンドープDBR 801に達するまで矩形状にエッチングされて第2のメサ構造が形成されている。

【0107】

また、第1のメサ構造の側面からp型AlAs層108が選択的に酸化されて、AlO

△絶縁領域 110 が形成されている。

【0108】

また、p型DBR 807 表面には、光出射部を除いてリング状のp側電極112が形成されている。そして、第1のメサ構造の底面（第2のメサ構造の頂上部）には、n側電極113が形成されている。

【0109】

また、第2のメサ構造の一辺に隣接して、45° 反射鏡809が形成されている。808は45° 反射鏡809の表面に形成された高反射膜であり、絶縁層を介した金属膜や誘電体多層膜を用いることができる。

【0110】

図8のVCSELにおいては、ノンドープ第1DBR 801とノンドープ第2DBR 804 とにはさまれた第1の共振器と、ノンドープ第2DBR 804 とp型DBR 807 にはさまれた第2の共振器との2つの共振器を有している。ノンドープ第1DBR 801、ノンドープ第2DBR 804、p型DBR 807のブラッグ反射波長は、全て0.85 μm となっている。また、2つの共振器の共振器長は、共に0.85 μm の光学的距離の自然数倍となるように設計されている。ノンドープ第2DBR 804の積層周期数をノンドープ第1DBR 801の積層周期数より少ない10周期程度とすることで、2つの共振器は光学的に結合し、1つの共振モードが形成される。

【0111】

図8のVCSELにおいては、p側電極112から注入された正孔と、n側電極113から注入された電子が、第2の共振器中に設けられたGaAs/Al_{0.3}Ga_{0.7}As多重量子井戸第1活性層106で発光再結合することにより、0.85 μm 帯の光を放出する。このとき、AlO_x絶縁領域110により電流がブロックされるため、選択酸化されていないp型AlAs層108の下に電流が集中して、電流が狭窄される。

【0112】

第1活性層106で発光した光は、ノンドープ第1DBR 801とノンドープ第2DBR 804 とp型DBR 807 とが結合した複合共振器内で共振して、基板と垂直上方にレーザ光が出射される。

【0113】

外部励起光は、45° 反射鏡809で反射されて、第2のメサ構造側面より、第1の共振器内に設けられた第2活性層104に輸入される。第2活性層104に励起光を連続的に注入することにより、第2活性層のバンドギャップ0.85 μm 帯に対応した光が発生する。そして、励起光強度を閾値以上に増加させると、光励起によりVCSELのレーザ発振が生じる。このとき、第1活性層106と第2活性層104のバンドギャップを等しくしており、また2つの共振器が結合した同一の共振モードで発振するため、第1活性層106に電流注入したときの発振光と、第2活性層104を光励起させたときの発振光は、同一波長で発振する。

【0114】

第2活性層104に励起光を連続的に注入して発振させた状態で、第1活性層106に注入する電流を変調させると、第1活性層106内のキャリア密度が変化して、出射されるレーザ光強度が変調される。このとき、第1活性層106に電流注入して発生する光に、外部励起光により第2活性層104で発生した光が同一モードで加えられるため、VCSEL素子内部の光子密度を増加させることができる。これにより、VCSELの緩和振動周波数が増加して、高速変調が可能となる。

【0115】

また、第1活性層106と第2活性層104は、ノンドープ第2DBR 804をはさんで別々の共振器内に設けられている。そのため、45° 反射鏡809から入力された励起光は、第2活性層104のみを選択的に励起し、第1活性層106に励起光が漏れて結合することがない。そのため、外部励起光によって、第1活性層106のキャリア密度が増加することがなく、第1活性層の利得が飽和する電流値を大きくすることができる。従

つ、第1活性層に印加する変調電圧信号によつて発生する変調光信号のオン／オフを大きくすることができる。

【実施例4】

【0116】

図3は、実施例4のVCSELを示す図である。図3を参照すると、n型GaAs基板301上に、n型DBR 302が積層されている。

【0117】

ここで、n型DBR 302は、n型GaAs層とn型Al_{0.9}Ga_{0.1}As層とを1/4波長厚で交互に積層して形成されている。

【0118】

n型DBR 302上には、GaAs第1スペーサ層303、GaInNAs/GaAs多重量子井戸第1活性層304、GaAs第2スペーサ層305、p型AlAs層108、p型GaAs第3スペーサ層306、GaInNAs/GaAs多重量子井戸第2活性層307、GaAs第4スペーサ層308、GaInNAs/GaAs多重量子井戸第3活性層309、ノンドープDBR 310が順次積層されている。

【0119】

ノンドープDBR 310は、ノンドープGaAs層とノンドープAl_{0.9}Ga_{0.1}As層とを1/4波長厚で交互に積層して形成されている。

【0120】

そして、積層構造表面からp型GaAs第3スペーサ層306の途中まで円筒状にエッチングされて、第1のメサ構造が形成されている。さらに、第1のメサ構造よりも大きい径で、n型DBR 302に達するまで円筒状にエッチングされて、第2のメサ構造が形成されている。

【0121】

また、第2のメサ構造の側面からp型AlAs層108が選択的に酸化されて、AlO_x絶縁領域110が形成されている。

【0122】

また、第1のメサ構造の底面（第2のメサ構造の頂上部）には、p側電極112が形成されている。そして、n型GaAs基板301の裏面にはn側電極113が形成されている。

【0123】

図3のVCSELにおいては、p側電極112から注入された正孔と、n側電極113から注入された電子が、GaInNAs/GaAs多重量子井戸第1活性層304で発光再結合することにより、1.3μm帯の光を放出する。このとき、AlO_x絶縁領域110により電流がブロックされるため、選択酸化されていないp型AlAs層108の下に電流が集中して、電流が狭窄される。第1活性層304で発光した光は、n型DBR 302とノンドープDBR 310との間の共振器内で共振して、基板と垂直上方にレーザー光が出射される。

【0124】

図3のVCSELにおいては、電流注入で発光する第1活性層304に加えて、GaInNAs/GaAs多重量子井戸第2活性層307、GaInNAs/GaAs多重量子井戸第3活性層309を備えたことを特徴としている。第2活性層307、第3活性層309に対しては電流注入する電極は設けられていない。

【0125】

第2活性層307及び第3活性層309に、VCSELの光出射部より励起光を連続的に注入することにより、外部光励起によりVCSELは1.3μmでレーザ発振する。外部励起光を連続的に注入して発振させた状態で、第1活性層306に注入する電流を変調させると、第1活性層304内のキャリア密度が変化して、出射されるレーザ光強度が変調される。このとき、第1活性層304に電流注入して発生する光に、外部励起光により発振した光が同一モードで加えられるため、VCSEL素子内部の光子密度を増加させる

しなくてはなる。

【0126】

また、実施例4のVCSELにおいては、外部光励起によって利得を発生する活性層の数を2層に増やすことにより、それぞれの活性層に蓄積されるキャリア密度を下げることができる。従って、実施例1のVCSELと比較して、より高い光子密度まで利得飽和が生じなくなる。従って、更に緩和振動周波数を増加させることができる。

【0127】

なお、外部励起光によって発光する第2活性層307、第3活性層309は、pn接合を形成する必要がない。従って、活性層を設ける位置について制限が少なくなっている。図3においては、共振器中に複数の活性層を設けているが、光励起する活性層を、DBR中に設けることも可能である。あるいは、結合した複数の共振器を構成し、各共振器中に光励起する活性層を設けることも可能である。このとき、VCSEL素子内の光と活性層との結合効率を増加させるために、光定在波分布における腹の位置に活性層を設けることが望ましい。また、活性層を増やしても電流注入するための電極端子を設ける必要がないため、作製工程が複雑化することがない。

【0128】

また、図3のVCSELにおいては、活性層材料として窒素と他のV族元素(As)との混晶半導体であるGaInNAsを用いている。そのため、GaAs基板上に1.3 μ m帯で発光する活性層をエピタキシャル成長させることができる。波長1.31 μ mは石英光ファイバの分散がゼロとなる波長である。従って、実施例4のVCSELを用いることにより、10Gbps以上の高い伝送帯域においても、分散による伝送制限を低減した光伝送システムを構築することができる。

【実施例5】

【0129】

図4は実施例4のVCSELを用いた発光装置の構成例を示す図(実施例5の発光装置を示す図)である。図4を参照すると、励起用VCSEL 402から出射された連続光は、偏光ビームスプリッタ403に入力される。励起用VCSEL 402から出力されるレーザ光の偏光方向を、偏光ビームスプリッタ403で反射される向きに設定しておくことにより、励起用VCSEL 402の出力光は90度曲げられて、実施例4のVCSEL 401の光出射面に入射される。励起用VCSELの発振波長は0.98 μ mとした。

【0130】

励起用VCSEL 402の発振波長は、VCSEL 401中のGaInNAs/GaAs多重量子井戸第2活性層307、GaInNAs/GaAs多重量子井戸第3活性層309の発光波長1.3 μ mよりも短波長となっているため、第2活性層307と第3活性層309を光励起して発振させることができる。これにより、VCSEL 401の電流注入による発振光と同期して内部の光子密度を増加させ、VCSEL 401の緩和振動周波数を増加させることができる。

【0131】

VCSEL 401から出力された変調光信号は、偏光ビームスプリッタ403に対して透過する向きに偏光方向を設定しておくことにより、偏光ビームスプリッタ403で反射されずに上方に出力される。

【0132】

実施例5の発光装置は、緩和振動周波数を向上させたVCSEL 401を用いることにより、10Gbps以上の大容量伝送が可能となっている。

【0133】

また、励起用光源にVCSELを用いることで、励起用光源の動作電流を低減することができ、発光装置を低消費電力化することができる。

【実施例6】

【0134】

図5 (a) は実施例6の発光装置を小り図である。図5を参照すると、n型GaAs基板301上に、n型DBR 302が積層されている。n型DBR 302は、n型GaAs層とn型Al_{0.9}Ga_{0.1}As層とを1/4波長厚で交互に積層して形成されている。n型DBR 302上には、GaAs第1スペーサ層501、GaInNAs/GaAs多重量子井戸第2活性層502、GaAs第2スペーサ層503、p型AlAs層108、p型GaAs第3スペーサ層504、GaInNAs/GaAs多重量子井戸第1活性層505、GaAs第4スペーサ層506、n型DBR 507が順次積層されている。n型DBR 507は、n型GaAs層とn型Al_{0.9}Ga_{0.1}As層とを1/4波長厚で交互に積層して形成されている。

【0135】

実施例6の発光装置は、変調光信号を発生するVCSEL部520と、励起用半導体レーザ部521とが、n型GaAs基板301上にモノリシック集積されている。

【0136】

VCSEL部520においては、積層構造表面からp型GaAs第3スペーサ層504の途中まで円筒状にエッチングされて、第1のメサ構造が形成されている。さらに、第1のメサ構造よりも大きいサイズで、n型DBR 302に達するまで矩形状にエッチングされて、第2のメサ構造が形成されている。

【0137】

また、第2のメサ構造の側面からp型AlAs層108が選択的に酸化されて、AlO_x絶縁領域110が形成されている。

【0138】

第1活性層505の近傍では、中央を除いてプロトンイオンが注入されて、高抵抗領域508が形成されている。

【0139】

また、第1のメサ構造の頂上部には、光出射部を除いてリング状のn側電極113が形成されている。そして、第1のメサ構造の底部（第2のメサ構造の頂上部）にはp側電極112が形成されている。

【0140】

また、第1のメサ構造の側面には、遮光層111が形成されている。

【0141】

励起用半導体レーザ部521は、VCSEL 520に近接して横に形成されており、ドライエッチングにより端面反射鏡が形成されたファブリ＝ペロー型半導体レーザとなっている。

【0142】

図5 (b) は、図5 (a) 中の励起用半導体レーザ部521のA-B線における断面図である。図5 (b) において、積層構造は図5 (a) のVCSEL部520と同一である。そして、積層構造表面からp型GaAs第3スペーサ層504の途中までエッチングされて、第1のリッジストライプ構造が形成されている。さらに、第1のリッジストライプ構造よりも広い幅でn型DBR 302に達するまでエッチングされて、第2のリッジストライプ構造が形成されている。また、第2のリッジストライプ構造の側面からp型AlAs層108が選択的に酸化されて、AlO_x絶縁領域110が形成されている。また、第1のリッジストライプ構造の底部（第2のリッジストライプ構造の頂上部）には、p側電極511が形成されている。そして、n型GaAs基板301の裏面にはn側電極510が形成されている。

【0143】

励起用半導体レーザ部521においては、p側電極511から注入された電流がAlO_x絶縁領域110によりリッジストライプ構造中央に狭窄されて、GaInNAs/GaAs多重量子井戸第2活性層502に注入されて、1.3 μm帯で発光する。n型DBR 302とn型DBR 507はクラッド層として機能し、垂直方向に光を閉じ込める。また、選択的に酸化されたAlO_x絶縁領域110は、酸化されていないp型AlAs層

110の領域においても屈折率が低くなるため、水平方向に屈折率差を生じさせる。AlOx絶縁領域110における横方向屈折率差と第1のリッジストライプ構造により、光は水平横方向に対しても閉じ込められる。

【0144】

光はドライエッチングにより形成された1対の端面反射鏡間で共振し、水平方向にレーザ発振光が取り出される。

【0145】

一方、VCSEL部520においては、p側電極112から注入された正孔とn側電極113から注入された電子とがGaInNAs/GaAs多重量子井戸第1活性層505で発光再結合することにより、1.3μm帯の光を放出する。このとき、高抵抗領域508により電流がメサ中央に狭窄される。また、AlOx絶縁領域110とp型AlAs層108の屈折率差により、光が水平方向に閉じ込められて、回折損失が低減される。第1活性層505で発光した光は、n型DBR 302とn型DBR 507の間の共振器内で共振して、基板と垂直上方にレーザ光が出射される。

【0146】

VCSEL部520では、電流注入で発光する第1活性層505に加えて、電流注入機構を有しないGaInNAs/GaAs多重量子井戸第2活性層502を備えている。VCSEL部520の第2活性層502は、隣接した励起用半導体レーザ521の活性層と同じ高さとなっており、第2活性層502に対して第2のメサ構造側面から励起光を注入することができる。第2活性層502に対して、励起用半導体レーザ521で発生した励起光を連続的に注入することにより、第2活性層502のバンドギャップ1.3μm帯に対応した光が発生する。そして、励起光強度を閾値以上に増加させると、光励起によりVCSEL520のレーザ発振が生じる。

【0147】

第2活性層502に励起光を連続的に注入して発振させた状態で、第1活性層505に注入する電流を変調させると、第1活性層505内のキャリア密度が変化して、出射されるレーザ光強度が変調される。このとき、第1活性層505に電流注入して発生する光に、光励起により第2活性層502で発生した光が同一モードで加えられるため、VCSEL520内部の光子密度を増加させることができる。これにより、VCSEL520の緩和振動周波数が増加して、高速変調が可能となる。

【0148】

このように、実施例6の発光装置においては、変調光信号を出力するVCSEL部520と励起用半導体レーザ521とを同一基板上にモノリシック集積したことにより、発光装置をさらに小型化することができる。そして、発光装置の部品点数や実装組み立て工程を簡略化することができるため、低コスト化を図ることができる。

【実施例7】

【0149】

図6は実施例7の発光装置を示す図である。図6を参照すると、n型GaAs基板301上に、n型DBR 601が積層されている。

【0150】

ここで、n型DBR 601は、n型GaAs層とn型Al_{0.9}Ga_{0.1}As層とを1/4波長厚（波長0.98μm）で交互に積層して形成されている。

【0151】

n型DBR 601上には、Al_{0.2}Ga_{0.8}As第1スペーサ層602、GaInNAs/GaAs多重量子井戸活性層603、Al_{0.2}Ga_{0.8}As第2スペーサ層604、p型DBR 605が順次積層されている。

【0152】

ここで、p型DBR 605は、p型GaAs層とp型Al_{0.9}Ga_{0.1}As層とを1/4波長厚（波長0.98μm）で交互に積層して形成されている。

【0153】

p型DBR 605上には、ノンドープDBR 606が積層されている。

【0154】

ここで、ノンドープDBR 606は、ノンドープGaAs層とノンドープAl_{0.9}Ga_{0.1}As層とを1/4波長厚（波長1.3μm）で交互に積層して形成されている。

【0155】

ノンドープDBR 606上には、GaInNAs/GaAs多重量子井戸第2活性層607、p型GaAs第1スペーサ層608、p型AlAs層108、GaAs第2スペーサ層609、GaInNAs/GaAs多重量子井戸第1活性層610、GaAs第3スペーサ層611、n型DBR 612が順次積層されている。

【0156】

ここで、n型DBR 612は、n型GaAs層とn型Al_{0.9}Ga_{0.1}As層とを1/4波長厚（波長1.3μm）で交互に積層して形成されている。

【0157】

そして、積層構造表面からp型GaAs第1スペーサ層608の途中まで円筒状にエッチングされて、第1のメサ構造が形成されている。さらに、第1のメサ構造よりも大きい径で、p型DBR 605に達するまで円筒状にエッチングされて、第2のメサ構造が形成されている。

【0158】

また、第1のメサ構造の側面からp型AlAs層108が選択的に酸化されて、AlO_x絶縁領域110が形成されている。

【0159】

また、GaInAs/GaAs多重量子井戸活性層603の近傍では、第2のメサ構造下を除いてプロトンイオンが注入されて、高抵抗領域508が形成されている。

【0160】

第1のメサ構造の頂上部には、光出射部を除いてリング状のn側電極113が形成されている。そして、第1のメサ構造の底部（第2のメサ構造の頂上部）にはp側電極112が形成されている。さらに、第2のメサ構造の底部にはp側電極511が形成されており、また、n型GaAs基板301の裏面にはn側電極510が形成されている。

【0161】

図6の発光装置は、n型GaAs基板301上に、励起用VCSEL 621と、変調光信号出力用VCSEL 620とがモノリシックに積層されて構成されている。すなわち、n型DBR 601からp型DBR 605までが励起用VCSEL 621を構成し、ノンドープDBR 606 からn型DBR 612までが変調光信号出力用VCSEL 620を構成している。

【0162】

励起用VCSEL 621においては、p側電極511から注入された正孔とn側電極510から注入された電子とがGaInAs/GaAs多重量子井戸活性層603で発光再結合することにより、0.98μm帯の光を放出する。このとき、高抵抗領域508により電流がメサ中央に狭窄される。GaInAs/GaAs多重量子井戸活性層603で発光した光は、n型DBR 601とp型DBR 605との間の共振器内で共振して、基板と垂直上方にレーザ光が放出される。

【0163】

一方、変調光信号発生用VCSEL 620においては、p側電極112から注入された正孔とn側電極113から注入された電子とがGaInNAs/GaAs多重量子井戸第1活性層610で発光再結合することにより、1.3μm帯の光を放出する。このとき、AlO_x絶縁領域110により電流がメサ中央に狭窄される。GaInNAs/GaAs多重量子井戸第1活性層610で発光した光は、ノンドープDBR 606とn型DBR 612との間の共振器内で共振して、基板と垂直上方にレーザ光が放出される。

【0164】

多調光用VCSEL 620では、電流注入機構を有しないGaInNAs/GaAs多重量子井戸第1活性層610に加えて、電流注入機構を有しないGaInNAs/GaAs多重量子井戸第2活性層607を備えている。GaInNAs/GaAs多重量子井戸第2活性層607は、下側にある励起用VCSEL 621から出力された $0.98\mu\text{m}$ 帯の光により励起されて、第2活性層607のバンドギャップ $1.3\mu\text{m}$ 帯に対応した光を発生する。励起光強度を閾値以上に増加させると、光励起によりVCSEL 620のレーザ発振が生じる。

【0165】

第2活性層607に励起用VCSEL 621の光を連続的に注入して発振させた状態で、第1活性層610に注入する電流を変調させると、第1活性層610内のキャリア密度が変化して、出射されるレーザ光強度が変調される。このとき、第1活性層610に電流注入して発生する光に、光励起により第2活性層607で発生した光が同一モードで加えられるため、VCSEL素子内部の光子密度が増加し、緩和振動周波数が増加する。

【0166】

また、GaInNAs/GaAs多重量子井戸第1活性層610のGaAs障壁層には、p型不純物であるCを $8\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ の濃度でドーピングしている。これにより、第1活性層610において、レーザ発振に必要な注入電子密度が減少し、微分利得が増加する。従って、緩和振動周波数をさらに1.5倍増加させることができる。以上の作用により、変調光信号発生用VCSEL 620は、直接変調で40Gbpsの光信号を発生させることが可能となった。

【0167】

また、実施例7の発光装置においては、変調光信号を出力するVCSEL 620と励起用VCSEL 621とを同一基板上にモノリシック集積したことにより、発光装置を非常に小型化することができる。

【0168】

また、外部変調器や光学的結像素子を有していないため、発光装置の部品点数が少なくでき、実装組み立て工程を簡略化することができる。従って、低コスト化を図ることができる。

【0169】

さらに、環境温度が変化した場合でも、VCSEL 620内において光励起されたレーザ光と電流励起されたレーザ光は常に同期して発振するため、緩和振動周波数を向上させるための精密な温度制御を必要としない。従って、電子冷却素子が不要な低コストの発光装置を形成することができる。

【実施例8】

【0170】

図7は実施例8の光伝送システムを示す図である。図7を参照すると、光送信部701において、電気信号が光信号に変換されて光ファイバケーブル704に導入される。光ファイバケーブル704を導波した光は、光受信部702で再び電気信号に変換されて出力される。

【0171】

光送信部701と光受信部702は、1つのパッケージに集積されており、光送受信モジュール703を構成している。光ファイバケーブル704は、送り用と受け用の2本が1対となっており、双方向に通信可能となっている。

【0172】

図7の光伝送システムの光送信部には、光源として実施例7の発光装置を用いている。実施例7の発光装置は緩和振動周波数を向上させており、外部変調器を用いることなく40Gbpsの信号伝送が可能となっている。また、電子冷却素子による温度制御が不要であり、低コストで製造することができる。従って、40Gbpsの大容量光伝送システムを、低コストで構築することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 実施例 1 の面発光半導体レーザ素子を示す図である。

【図 2】 実施例 2 の発光装置を示す図である。

【図 3】 実施例 4 の面発光半導体レーザ素子を示す図である。

【図 4】 実施例 5 の発光装置を示す図である。

【図 5】 実施例 6 の発光装置を示す図である。

【図 6】 実施例 7 の発光装置を示す図である。

【図 7】 実施例 8 の光伝送システムを示す図である。

【図 8】 実施例 3 の面発光半導体レーザ素子を示す図である。

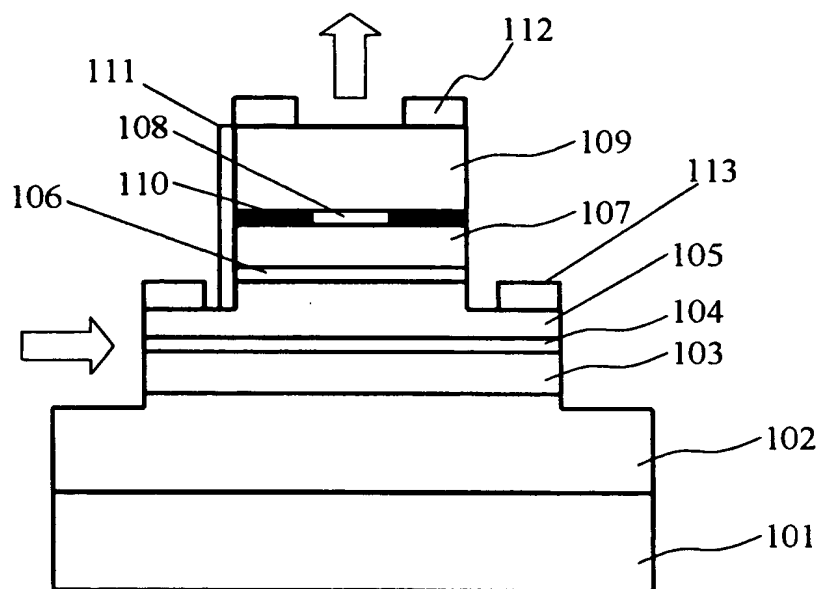
【符号の説明】

【 0 1 7 4 】

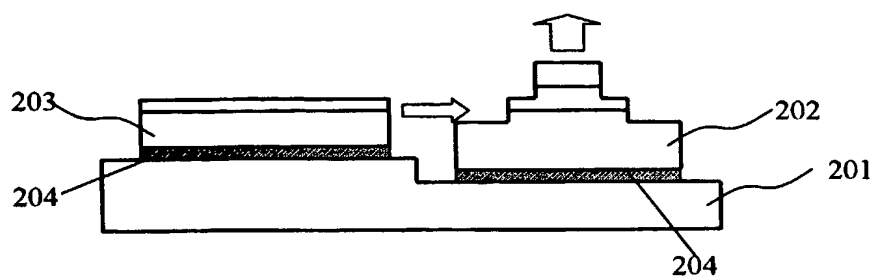
1 0 1	半絶縁性 G a A s 基板
1 0 2	ノンドープ A l 0 . 2 G a 0 . 8 A s / A l 0 . 9 G a 0 . 1 A s
D B R	
1 0 3	A l G a A s 第 1 スペーサ層
1 0 4	G a A s / A l G a A s 多重量子井戸第 2 活性層
1 0 5	n 型 A l G a A s 第 2 スペーサ層
1 0 6	G a A s / A l G a A s 多重量子井戸第 1 活性層
1 0 7	A l G a A s 第 3 スペーサ層
1 0 8	p 型 A l A s 層
1 0 9	p 型 A l 0 . 2 G a 0 . 8 A s / A l 0 . 9 G a 0 . 1 A s D B R
1 1 0	A l O x 絶縁領域
1 1 1	遮光層
1 1 2	p 側電極
1 1 3	n 側電極
2 0 2	S i 基板
2 0 2	V C S E L
2 0 3	励起用端面型半導体レーザ素子
2 0 4	金属はんだ
3 0 1	n 型 G a A s 基板
3 0 2	n 型 G a A s / A l 0 . 9 G a 0 . 1 A s D B R
3 0 3	G a A s 第 1 スペーサ層
3 0 4	G a I n N A s / G a A s 多重量子井戸第 1 活性層
3 0 5	G a A s 第 2 スペーサ層
3 0 6	p 型 G a A s 第 3 スペーサ層
3 0 7	G a I n N A s / G a A s 多重量子井戸第 2 活性層
3 0 8	G a A s 第 4 スペーサ層
3 0 9	G a I n N A s / G a A s 多重量子井戸第 3 活性層
3 1 0	ノンドープ G a A s / A l 0 . 9 G a 0 . 1 A s D B R
4 0 1	1 . 3 μ m 帯 V C S E L
4 0 2	励起用 0 . 9 8 μ m 帯 V C S E L
4 0 3	偏光ビームスプリッタ
5 0 1	G a A s 第 1 スペーサ層
5 0 2	G a I n N A s / G a A s 多重量子井戸第 2 活性層
5 0 3	G a A s 第 2 スペーサ層
5 0 4	p 型 G a A s 第 3 スペーサ層
5 0 5	G a I n N A s / G a A s 多重量子井戸第 1 活性層
5 0 6	G a A s 第 4 スペーサ層
5 0 7	p 型 G a A s / A l 0 . 9 G a 0 . 1 A s D B R
5 0 8	プロトンイオン注入領域

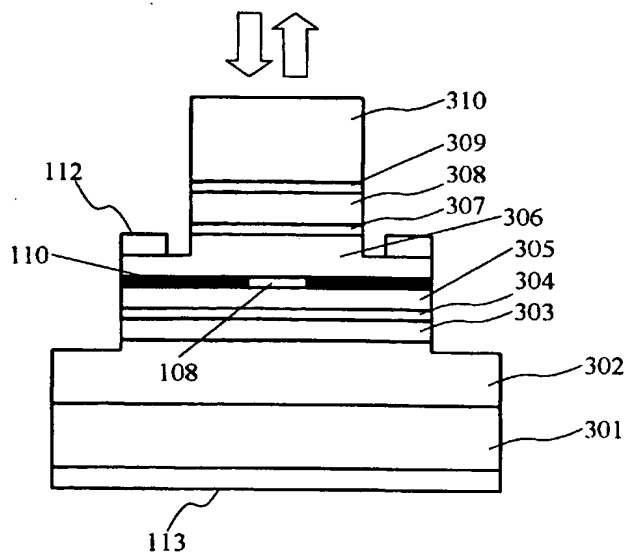
510	II 空電極
511	p 型電極
520	VCSEL 部
521	励起用 LD 部
601	n 型 GaAs / Al _{0.9} Ga _{0.1} As DBR
602	AlGaAs 第 1 スペーサ層
603	GaInAs / GaAs 多重量子井戸活性層
604	AlGaAs 第 2 スペーサ層
605	p 型 GaAs / Al _{0.9} Ga _{0.1} As DBR
606	アンドープ GaAs / Al _{0.9} Ga _{0.1} As DBR
607	GaInNAs / GaAs 多重量子井戸第 2 活性層
608	p 型 GaAs 第 1 スペーサ層
609	GaAs 第 2 スペーサ層
610	GaInNAs / GaAs 多重量子井戸第 1 活性層
611	GaAs 第 3 スペーサ層
612	n 型 GaAs / Al _{0.9} Ga _{0.1} As DBR
620	1.3 μm VCSEL
621	励起用 0.98 μm VCSEL
701	光送信部
702	光受信部
703	光送受信モジュール
704	光ファイバケーブル
801	ノンドープ Al _{0.2} Ga _{0.8} As / Al _{0.9} Ga _{0.1} As
第 1 DBR	
802	AlGaAs 第 1 スペーサ層
803	AlGaAs 第 2 スペーサ層
804	ノンドープ Al _{0.2} Ga _{0.8} As / Al _{0.9} Ga _{0.1} As
第 2 DBR	
805	n 型 AlGaAs 第 3 スペーサ層
806	AlGaAs 第 4 スペーサ層
807	p 型 Al _{0.2} Ga _{0.8} As / Al _{0.9} Ga _{0.1} As DBR
808	高反射膜
809	45° 反射鏡

【图 1】

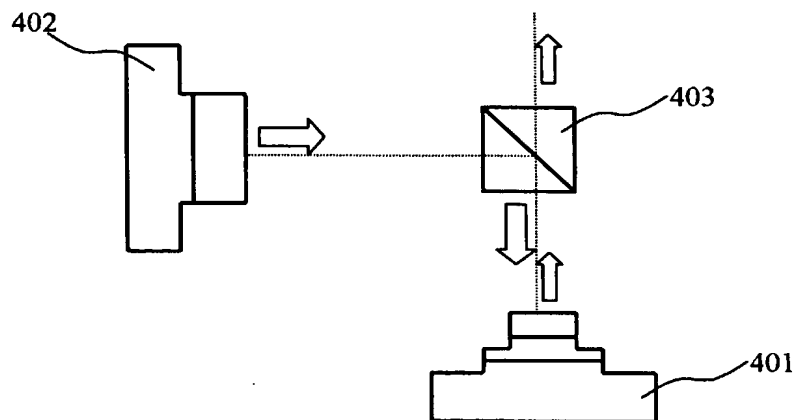


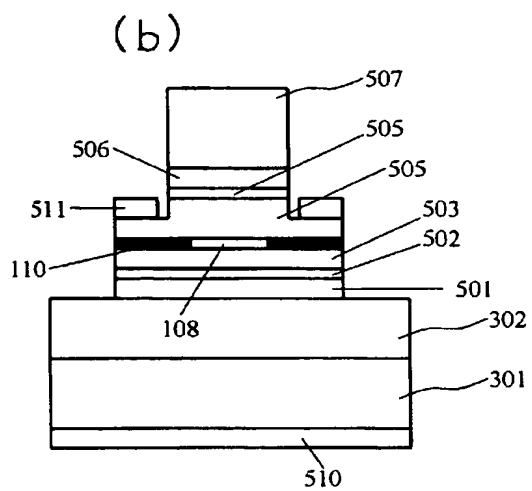
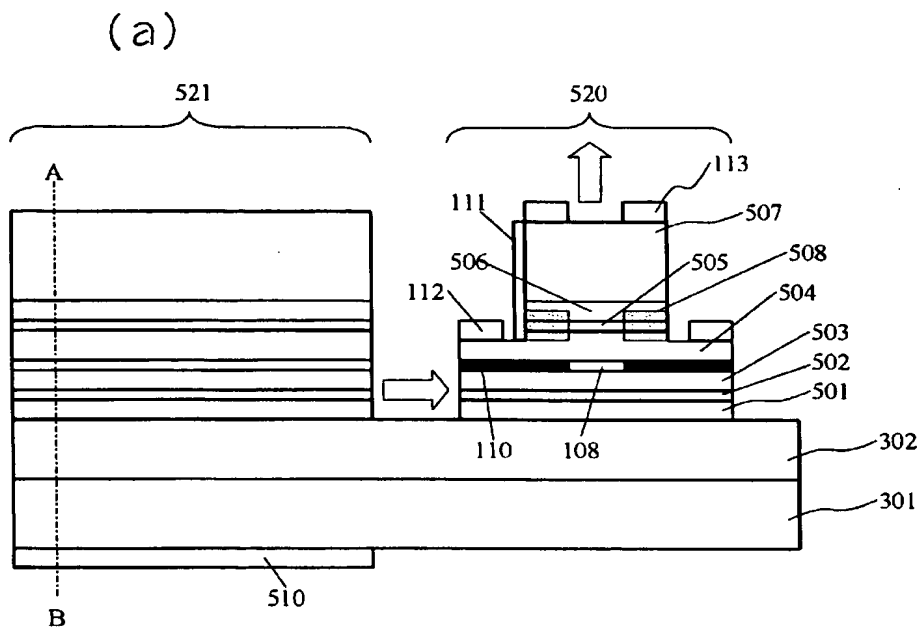
【图 2】

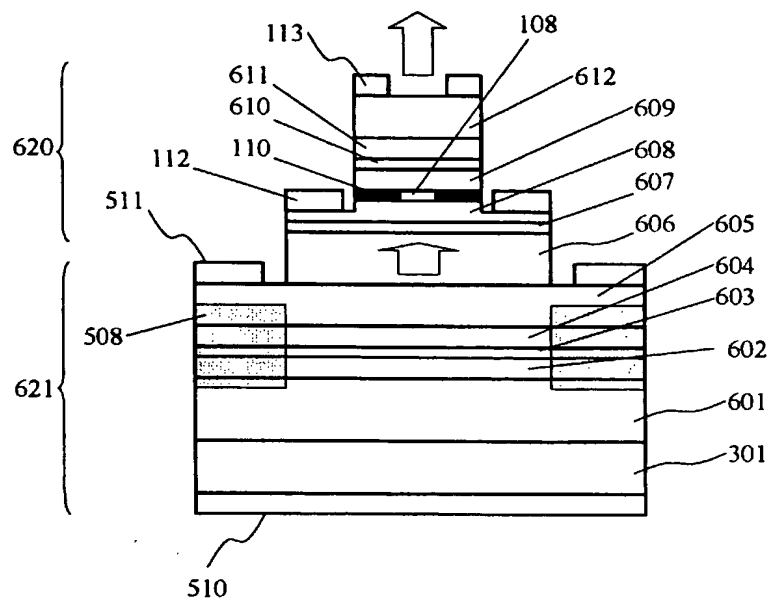




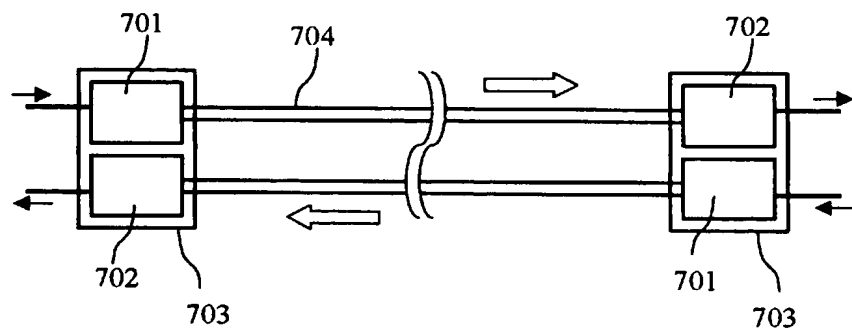
【 図 4 】

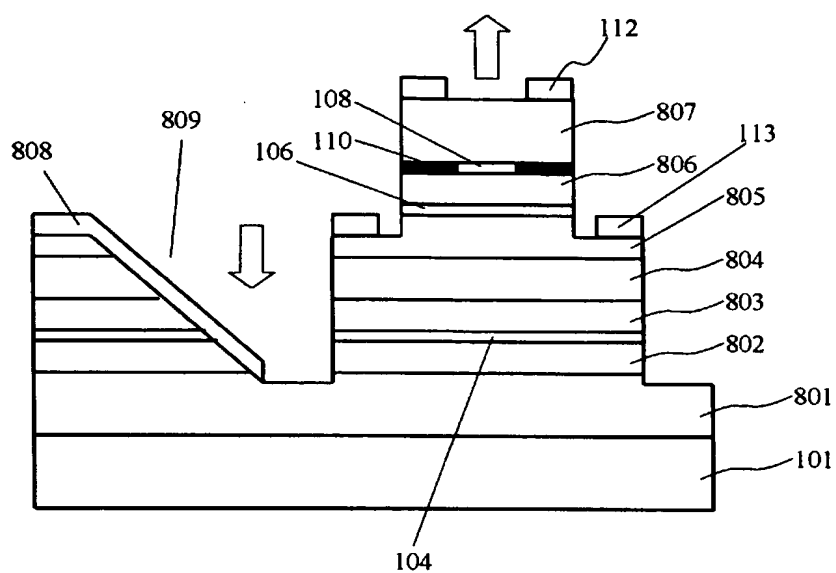






【 図 7 】





【要約】

【課題】 緩和振動周波数が高く、チャンネル当たりの伝送容量が10Gbpsを超える大容量伝送に適したVCSEL発光装置を、簡易な構成で実現することの可能な垂直共振器型面発光半導体レーザ素子を提供する。

【解決手段】 基板101上に、多層膜反射鏡102、109で上下をはさまれた共振器構造を備えた垂直共振器型面発光半導体レーザ素子において、上記共振器構造内に、電流注入で発光する活性領域106と電流注入機構を有せず外部励起光によって発光する活性領域104とを備えており、電流注入で発光する活性領域106と外部励起光によって発光する活性領域104とは、両者とも、上記共振器構造が有する同一の共振モード波長に対して、利得を有することを特徴としている。

【選択図】 図1

0 0 0 0 0 6 7 4 7

・ 20020517

住所変更

東京都大田区中馬込1丁目3番6号

株式会社リコー

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/007269

International filing date: 07 April 2005 (07.04.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-118755
Filing date: 14 April 2004 (14.04.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 20 May 2005 (20.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.